

# Hearing loss in young children : challenges in assessment and intervention

Citation for published version (APA):

Hof, J. R. (2015). *Hearing loss in young children : challenges in assessment and intervention*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Maastricht University. <https://doi.org/10.26481/dis.20150306jh>

## Document status and date:

Published: 01/01/2015

## DOI:

[10.26481/dis.20150306jh](https://doi.org/10.26481/dis.20150306jh)

## Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

## Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

## General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.umlib.nl/taverne-license](http://www.umlib.nl/taverne-license)

## Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[repository@maastrichtuniversity.nl](mailto:repository@maastrichtuniversity.nl)

providing details and we will investigate your claim.

## Summary



## Summary

A hearing impairment not only has negative implications for a child's speech and language development, but also has a major impact on his or her emotional and social development. It is therefore extremely important to start early with effective rehabilitation for children who have been diagnosed with permanent or long-term hearing loss. Although it seems obvious that hearing can be reliably quantified, clinical practice shows that this is not always the case for young children. However, this quantification is an essential condition for the selection and use of the most appropriate treatment.

There are a number of reasons why it is more difficult to measure hearing in children than in adults. First, the measurement results strongly depend on the child's overall development and their cooperation during the test. Second, children have a much higher prevalence of middle ear pathology than adults do, meaning that the (variable) conductive component of the hearing loss plays a major role. Finally, current audiological measuring instruments do not always adequately answer our questions about these young children. An ideal audiological measuring instrument would be able to determine both the frequency- and ear-specific hearing loss and the objective degree of hearing loss in children from a very young age. This instrument would also be able to quantify the perceptive threshold in a mixed or conductive hearing loss. Unfortunately, this ideal measuring instrument is not yet available.

The newborn hearing screening (NHS) facilitates the early diagnosis of hearing impairment in newborns. The purpose of screening is to detect all infants with a unilateral or bilateral hearing loss of at least 40 dBHL, between 500 and 4000Hz. The screening was gradually introduced in the Netherlands between 2002 and 2006, replacing the CAPAS (Compact Amsterdam Paedo-Audiometric Screener), which was administered around the age of 9 months.

The NHS used for infants who were admitted to a neonatal intensive care unit (NICU) differs from that used for well babies (infants not admitted to a NICU), because a greater percentage of the hearing impairments in the former population is caused by central pathology. Well babies are screened using transient evoked otoacoustic emissions (TEOAE) by the *Jeugd gezondheidszorg* (JGZ) at an age of 2 weeks. Otoacoustic emissions (OAEs) are weak sounds generated by the outer hair cells of the cochlea. An external stimulus can make the emissions inducible and clinically applicable. An ear in which TEOAEs can be measured is considered to have a sufficiently functioning cochlea and to have normal transmission through the ear canal and the middle ear. Infants admitted to the NICU are screened with an automated auditory brainstem response (AABR) test based on the electrophysiological activity of neurons in response to acoustic stimuli in the cochlear and brainstem pathways. The hearing threshold can be determined by reducing an external clicking stimulus and seeing a

sufficiently visible response. So this test measures the auditory pathway from the ear canal to the auditory centre of the brainstem.

If a infant has an inadequate screening outcome (repeatedly), he or she is referred for further hearing assessments. This thesis focuses on the evaluation and improvement of the reliability of audiological diagnostics in (very) young children.

**Chapter 2** documents five years' worth of audiological findings collected by a multidisciplinary team at the Maastricht University Medical Centre. Infants with an insufficient score on the NHS are referred to this team. This research gives insight into the ages of the children when their first hearing thresholds were measured, the severity and type of hearing loss, any medical conditions and the timeframes of the diagnostic and therapeutic processes. Furthermore the hearing thresholds measured at the time of the first team consult were compared to the hearing results at around the age of 12 months. Finally, we looked at the differences in the above aspects for the two different screening populations: the infants referred by the JGZ versus the infants from the NICU.

Our population consisted of 30 infants referred from the JGZ population and 23 from the NICU, with an average gestational age of 38.8 weeks versus 34.8 weeks during the first hearing threshold measurement. The first team consult took place well before the age of 3 months and an intervention was introduced before the age of 4 months. This was in agreement with both the international guidelines of the Joint Committee on Infant Hearing (JCIH, 2007) and the Dutch guidelines formulated by the National Institute for Public Health and the Environment.

In general, the hearing thresholds measured for both populations corresponded at the first measurement and at the age of one year. However, middle ear pathology, defined as a flat tympanogram and otoscopy, was found to contribute significantly to differences in findings between the two measurement points (in both the NICU and JGZ populations). The presence of middle ear pathology makes it difficult to assess hearing loss in very young children. Risk factors for hearing impairment, such as those formulated by the JCIH, were found as expected in 100% of the NICU neonates, but also occurred in 40% of the neonates from the JGZ population. Most NICU neonates had more than one risk factor.

We conducted a medical evaluation to determine the aetiology of the hearing impairment found in 32 of the 53 neonates. The children who did not undergo medical evaluation were those for whom clinical consequences or parental consent was lacking. We offered medical diagnoses more frequently during the later years than in the initial phase of the evaluation period. Eleven children were found to have a syndrome associated with hearing loss. Six children had a family history of hearing loss at birth or in early childhood. Two children had been diagnosed with intrauterine cytomegalovirus (CMV) infection. We found no cause for the hearing loss experienced by nine of the neonates, despite the use of comprehensive analyses.

The intervention consisted of placing middle ear ventilation tubes, fitting hearing aids or cochlear implants (CI), or a combination of these therapies. No intervention was needed for 26.4% of the children as they had either unilateral hearing loss or sufficient hearing. Hearing aids were fitted for 22 children (usually within two weeks after the team consult) and seven children had satisfying hearing after middle ear ventilation tubes. Finally, a CI was indicated for 10 children.

This research shows that the development of timely and appropriate diagnosis in multidisciplinary teams is able to help identify and treat hearing loss in very young children within the applicable national and international guidelines.

**Chapter 3** describes the delayed maturation of the central auditory system as the cause of congenital hearing impairment in premature neonates and the consequences of this for early placement of cochlear implants.

Cochlear implants are a therapeutic option for children with a severe sensorineural hearing loss for which hearing aids provide insufficient benefit. The trend is to place implants at an even younger age in order to obtain optimal speech and language development. This makes it even more important to determine a reliable hearing threshold at a younger age. Special attention would need to be paid to premature born children whose sensorineural hearing loss may have been caused by insufficient maturation of the auditory system and which could therefore still improve.

We evaluated the hearing thresholds of 14 premature neonates with bilateral sensorineural hearing impairment in the first years of their life. The hearing of four neonates improved to normal thresholds and the hearing of five neonates improved to subnormal thresholds. Five neonates showed no improvement, and they were considered cochlear implant candidates. In this small population, we observed that the chance of hearing improvement was greatest for extremely premature neonates (born before a gestational age of 28 weeks) with a low birth weight and no other hearing-related risk factors. If an improvement in the hearing threshold was observed, this took place before the age of 40 weeks gestational age.

The hearing improvement in premature born infants may be explained by a (delayed) maturation of the auditory system. At the end of the second trimester of the embryonic period, the cochlea has its fully-grown form and the cochlear nerve and brainstem are also almost fully developed. Afterwards, in the perinatal period, the myelinisation starts from the cochlear to the cortical areas of the auditory system, leading to structural and functional maturation of the cochlea, nervus cochlearis and brainstem. This maturation of the auditory system is activated by auditory input, for which acoustic stimulation is essential.

The definition of age is highly relevant for premature born infants for whom a cochlear implant is being considered. We recommend that the minimum age for cochlear implants be 40 weeks, corrected for gestational age and counting from the a-term date, so that the child can be offered the chance of auditory maturation.

**Chapter 4** describes the results of our investigation into the influence of middle ear pressure on transient evoked otoacoustic emissions.

TEOAEs are greatly affected by middle ear pathology such as otitis media and deviant middle ear pressure, since both incoming stimulus administered during the measurement and the resulting retrograde emission are guided through the middle ear. The disturbed middle ear transmission of sound leads to a reduced detection of TEOAEs. Equalizing the pressure difference between the ear canal and middle ear could therefore increase the TEOAE amplitudes and make it easier for them to be detected in cases of deviant pressures.

We investigated the effect of pressure compensation on the amplitude of TEOAEs in 59 children with a negative pressure on the tympanogram in the middle ear. First, we found that a specially developed TEOAE/tympanometry instrument made it possible to equalizing the pressure gradient across the eardrum and measure TEOAEs with and without pressure. As expected, the emission amplitude increased by compensation for the negative middle ear pressure. The increased amplitude was significantly larger in the 1 and 2 kHz frequency areas. Second, we showed a negative correlation between the tympanic peak pressure (TPP; the pressure at which the tympanogram indicates the greatest mobility) and the TEOAE amplitude growth. In addition, we analysed the relationship between the TPP and the emission increase for four reproducibility criteria (85%, 70%, 60% and 50%). This showed that the stronger the reproducibility criterion, the higher the correlation between compensation pressure and increase in amplitude. That is to say, the pressure compensation has an actual effect on the emission, and not on the always present noise. This correlation was more evident for the lower frequency bands.

**Chapter 5** presents a two-step scenario that we developed as a screening programme with TEOAE for children, based on the findings described in Chapter 4.

The instrument described in the previous chapter can compensate for an abnormal middle ear pressure and simultaneously measure TEOAEs. This can lead to improved detection of TEOAEs in children with mild middle ear pathology and thus to a decrease in the number of false negative results from hearing screening. This could reduce the number of repeated audiological and ENT examinations and interventions.

In our population of children with a high prevalence of middle ear pathology (children referred for hearing complaints), we were not able to detect TEOAEs in over 50% of the ears at a normal ambient pressure. TEOAEs proved significantly more detectable with middle ear pressure compensation, but in a small number of ears this pressure compensation led to decreased detection and turned an initial positive screening result into an insufficient result. This problem can be resolved by following a two-step scenario: a TEOAE should only be repeated with a pressure compensated measurement if the initial score was insufficient. This improved procedure led to a significant

reduction in the number of false negative test results, and thus to a reduction in unnecessary audiological follow-up assessments.

There is no consensus in the literature about when detection of a TEOAE should be evaluated as sufficient. We defined 12 different pass/fail definitions, based on the reproducibility criteria, the overall signal-to-noise ratio and the frequency-specific signal-to-noise ratio. As expected, the narrowest definitions led to the lowest number of passes and the definitions with the strictest reproducibility criteria or signal-to-noise ratio led to a much higher number of passes. In other words, the narrower the definition, the fewer signals that may be mentioned as emission above the noise. The overall signal-to-noise ratio had a greater influence on the screening outcome, which resulted in the number being lower than in comparable definitions for specific frequency bands.

Also we looked at the shape of the tympanogram and the presence or absence of TEOAEs. In practice, a negative TPP, which often goes hand in hand with a low compliance (height of the peak of the tympanogram), is assessed as “negative pressure in the middle ear” in the tympanogram. Ears with a sufficient TEOAE screening score in the uncompensated measurement had the highest compliance. A low compliance in the tympanometry more often led to an insufficient TEOAE score, in measurements using both uncompensated and compensated middle ear pressures. Lower TPPs were more often measured in ears with an insufficient score in both uncompensated and compensated middle ear pressures. These results proved insufficient to predict whether a compensated measurement would result in an adequate screening outcome based on the form of the tympanogram. These findings support the use of the proposed two-step scenario in pressure compensated TEOAE screening.

**Chapter 6** aims to offer further insight into how middle ear pressure compensation leads to an amplitude increase of click-evoked otoacoustic emissions (CEOAEs). In addition to the amplitude, we studied the emission’s phase change after pressure compensation and compared these results with Zwislocki’s modified middle ear model. The results showed that removal of a deviant TPP led to an increase in the amplitude as well as a delay of the CEOAE phase. The effect increased in ears with mild to moderate negative TPP, but did not increase further in ears with severe negative TPP. We suspect that this can partly be explained in the latter group by secondary effects such as the presence of effusion or thickened mucosa. In accordance with the results from Chapters 4 and 5, the low frequencies of the emissions were influenced more by the pressure compensation than by the high frequencies; this relates to both the amplitude and the phase change.

Zwislocki’s middle ear model proved useful for describing the changes in amplitude and phase. The basic values of the model in our study, which were used to describe the pressure compensation, had to be adjusted somewhat. We expected that a negative TPP would result in an increase in the stiffness of the middle ear system, which would



return to normal values after compensation. The compliance  $C_0$  was changed in the model (stiffness of the tympanic membrane, malleus and incus), after which patient data and model predictions were compared. The data in this model corresponded well with patient data for ears with moderate negative TPP. A slightly better prediction was achieved by a further reduction of the mass factor  $L_0$ . One explanation for this mass reduction by pressure compensation could possibly be found in the displacement of middle ear effusion.

## Samenvatting



## Samenvatting

Slechthorendheid bij kinderen heeft niet alleen negatieve consequenties voor de spraak- en taalontwikkeling, maar heeft ook een grote invloed op de emotionele en sociale ontwikkeling. Daarom is het tijdig opstarten van een adequate gehoorrevalidatie van groot belang als bij een kind een blijvend of langdurig gehoorverlies is aangetoond. Alhoewel het vanzelfsprekend lijkt dat het gehoor betrouwbaar gekwantificeerd kan worden, wijst de klinische praktijk uit dat dit niet het geval is bij jonge kinderen. Dit is wel een essentiële voorwaarde voor het kiezen en toepassen van de meest geschikte behandeling. Metingen van het gehoor bij kinderen zijn in vergelijking met volwassenen om verschillende redenen lastig. Ten eerste zijn de meetresultaten sterk afhankelijk van de algehele ontwikkeling en medewerking van het kind. Daarnaast hebben kinderen een veel hogere prevalentie van middenoorpathologie, waardoor de (variabele) geleidingscomponent van het gehoorverlies een grote rol speelt. En tenslotte blijken de huidige audiologisch meetinstrumenten niet altijd een toereikend antwoord te kunnen geven op de vraag die we hebben bij deze jonge kinderen. Een ideaal audiologisch meetinstrument zou vanaf zeer jonge leeftijd frequentie- en oorspecifiek, maar ook objectief de mate van het gehoorverlies kunnen bepalen. Daarnaast zou dit instrument bij een gemengd- of een geleidingsverlies de perceptieve drempel kunnen kwantificeren. Dit ideale meetinstrument is nog niet beschikbaar.

De neonatale gehoorscreening faciliteert de vroegdiagnostiek van slechthorendheid bij pasgeborenen (neonaten). Het doel van de screening is om alle neonaten op te sporen met een uni- of bilateraal gehoorverlies van minimaal 40 dB, tussen 500 en 4000Hz (spraakfrequenties). In Nederland is deze screening tussen 2002 en 2006 geleidelijk ingevoerd, ter vervanging van de CAPAS (compacte Amsterdamse pedoaudiologische screener), welke rond de leeftijd van 9 maanden werd afgenomen.

De neonatale gehoorscreening is verschillend voor neonaten met en zonder opname op een neonatale intensive care unit (NICU), aangezien bij deze laatste populatie een groter percentage van de slechthorendheid wordt veroorzaakt door centrale pathologie. Bij neonaten die niet op een NICU zijn opgenomen meet de jeugd gezondheidszorg (JGZ) binnen 2 weken na de geboorte *transient evoked otoacoustic emissions* (TEOAE). Otoakoestische emissies (OAE) zijn zwakke geluiden opgewekt door de buitenste haarcellen van het slakkenhuis (cochlea). Door een externe stimulus zijn emissies opwekbaar en daardoor ook beter klinisch toepasbaar. In een oor waar TEOAEs gemeten kunnen worden beschouwen we de functie van het cochlea als voldoende, waarbij de transmissie via de gehoorgang en het middenoor normaal zijn. Neonaten die op de NICU zijn opgenomen worden gescreend met een *automatic auditory brainstem responses* (AABR). De basis van deze test is de elektrofysiologische activiteit van neuronen als reactie op akoestische prikkels in het traject van het cochlea

en hersenstam. Door een externe klikstimulus te verlagen en een voldoende zichtbare response valt de gehoordrempel te bepalen. Dus bij deze test wordt het auditieve traject vanaf de gehoorgang tot aan de auditieve kernen in de hersenstam gemeten. Als een kind (bij herhaling) een onvoldoende screeningsuitslag heeft, wordt het verwezen voor nadere diagnostiek van het gehoor.

Dit proefschrift is gericht op de evaluatie en verbetering van de betrouwbaarheid van audiologische diagnostiek bij (zeer) jonge kinderen.

In **Hoofdstuk 2** zijn vijf jaar audiologische bevindingen van een multidisciplinair team in het Maastricht Universitair Medisch Centrum gedocumenteerd, waarnaar neonaten met een onvoldoende score bij de neonatale gehoorscreening zijn verwezen. Dit onderzoek geeft inzicht in de leeftijd van de kinderen tijdens de eerste gehoordrempelbepaling, de ernst en type van het gehoorverlies, de eventuele medische oorzaak en het tijdsverloop van het diagnostisch en therapeutisch proces. Tevens werden gehoordrempels, gemeten ten tijde van het eerste teamconsult, vergeleken met gehoorresultaten rond de leeftijd van 12 maanden. Tenslotte werd gekeken naar de verschillen in bovengenoemde aspecten voor de beide screeningspopulaties, neonaten verwezen vanuit de jeugdgezondheidszorg (JGZ) versus neonaten vanuit de NICU populatie.

Onze populatie bestond uit 30 neonaten verwezen uit de JGZ populatie en 23 vanuit de NICU, met een gemiddelde conceptieleeftijd van 38.8 weken versus 34.8 weken tijdens de eerste gehoordrempelbepaling. Het eerste teamconsult vond plaats ruim voor de leeftijd van 3 maanden en een interventie werd voor de leeftijd van 4 maanden gestart. Hiermee werd zowel voldaan aan de internationale richtlijn van de *Joint Committee on Infant Hearing* (JCIH 2007), als aan de Nederlandse richtlijn opgesteld door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM).

In het algemeen kwamen gehoordrempels gemeten tijdens de eerste meting en gemeten op de leeftijd van een jaar voor beide populaties overeen. Echter middenoorpathologie, gedefinieerd als een vlak tympanogram en otoscopie, bleek in belangrijke mate bij te dragen aan verschillen in bevindingen tussen beide meetmomenten (in zowel de NICU als de JGZ populatie). De aanwezigheid van middenoorpathologie maakt het inschatten van een gehoorverlies bij (zeer jonge) kinderen moeilijk.

Risicofactoren voor slechthorendheid, zoals opgesteld door de JCIH bleken zoals verwacht in 100% van de NICU neonaten aanwezig te zijn, maar ook bij 40% van de neonaten uit de JGZ populatie voor te komen. De meeste NICU neonaten hadden meer dan 1 risicofactor.

Medische evaluatie ten aanzien van de etiologie van de slechthorendheid werd bij 32 van de 53 neonaten verricht. Bij de kinderen waarbij geen medische evaluatie plaatsvond ontbrak de klinische consequentie of de overeenstemming met de ouders.

Gedurende de evaluatieperiode hebben we in de latere jaren, in vergelijking met de startfase, vaker medische diagnostiek aangeboden. Bij 11 kinderen bleek er sprake van een met gehoorverlies geassocieerd syndroom. De familie anamnese bleek bij 6 kinderen positief voor slechthorendheid vanaf de geboorte of in de vroege jeugd. Twee kinderen hadden een intra uteriene infectie met het cytomegalovirus (CMV) doorgemaakt. Bij 9 neonaten kon ondanks inzetten van uitvoerige analyse geen oorzaak worden aangetoond.

Interventie bestond uit plaatsen van middenoordrainage buisjes, het aanpassen van hoortoestellen, cochleaire implantatie (CI), of een combinatie van deze therapieën. In 26,4% bleek interventie niet noodzakelijk aangezien er sprake was van unilateraal gehoorverlies of een voldoende gehoor. Bij 22 kinderen werden hoortoestellen aangepast (meestal binnen 2 weken na het teamconsult), 7 kinderen kregen enkel middenoordrainage buisjes. Uiteindelijk werd bij 10 kinderen een indicatie gesteld voor een CI.

Dit onderzoek toont aan dat ontwikkeling van tijdige en adequate diagnostiek in multidisciplinair verband in staat is om binnen de geldende (inter)nationale richtlijnen gehoorverlies bij zeer jonge kinderen vast te stellen en te behandelen.

**Hoofdstuk 3** beschrijft de vertraagde maturatie (rijping) van het centraal auditieve systeem als oorzaak van congenitale (aangeboren) slechthorendheid in prematuur geboren neonaten en de consequenties hiervan voor vroege cochleair implantatie.

Voor kinderen met een ernstig perceptief gehoorverlies waarbij hoortoestelaanpassing onvoldoende soelaas biedt is cochleaire implantatie een therapeutische mogelijkheid. Om een optimale spraak- en taalontwikkeling te verkrijgen is het de trend om op steeds jongere leeftijd te implanteren. Dit maakt het nog dringender noodzakelijk om op een nog jongere leeftijd een betrouwbare gehoordrempel te bepalen. Speciale aandacht is dan nodig voor prematuur geboren kinderen bij wie de sensorineurale slechthorendheid veroorzaakt kan worden door onvoldoende maturatie van het auditieve systeem en daarom nog kan verbeteren.

We hebben bij 14 prematuur geboren neonaten met bilaterale sensorineurale slechthorendheid de gehoordrempels geëvalueerd in de eerste jaren van hun leven. Verbetering van het gehoor tot normale drempels werd waargenomen bij 4 neonaten en tot subnormale drempels bij 5 neonaten. Bij 5 neonaten vond er geen verbetering van het gehoor plaats, en werd een CI indicatie gesteld. In deze kleine populatie van 14 neonaten observeerden we dat de kans op gehoorverbetering het grootst is bij extreem prematuur geboren neonaten, geboren voor een zwangerschapsduur van 28 weken, met een laag geboorte gewicht, zonder andere gehoor gerelateerde risicofactoren. Indien er een verbetering in de gehoordrempel werd gezien vond deze plaats voor de à terme leeftijd van 40 weken, gecorrigeerd voor de zwangerschapsduur. Deze gehoorverbetering in prematuur geboren neonaten kan verklaard worden door een vertraagde uitrijping van het auditieve systeem. Aan het eind van het 2<sup>e</sup> trimester

van de embryonale periode heeft de cochlea een uitgegroeide vorm, daarnaast zijn de nervus cochlearis en de hersenstam in grote lijnen aangelegd. Hierna start in de perinatale periode myelinisatie vanuit de cochlea naar corticale gebieden van het auditieve systeem en dit leidt tot structurele en functionele uitrijping van cochlea, nervus cochlearis en hersenstam. Deze uitrijping van het auditieve systeem wordt geactiveerd door audiologische input en hiervoor is akoestische stimulatie essentieel.

De definitie van leeftijd is relevant bij prematuur geboren neonaten waarbij CI wordt overwogen. Wij adviseren een leeftijd, gecorrigeerd voor de zwangerschapsduur, van 40 weken gerekend vanaf de à terme datum, als ondergrens voor cochleaire implantatie, zodat de kans op auditieve maturatie wordt aangeboden aan het kind.

In **Hoofdstuk 4** is de invloed van middenoordruk op *transient evoked otoacoustic emissions* onderzocht.

TEOAEs worden sterk beïnvloed door middenoor pathologie, zoals otitis media en een afwijkende middenoordruk, aangezien zowel de bij de meting toegediende inkomende stimulus als ook de resulterende retrograde emissie beiden via het middenoor worden voortgeleid. Het in het middenoor verstoorde geluidstransport leidt tot een vermindering van de detectie van TEOAEs. Daarom zou het opheffen van het drukverschil tussen gehoorgang en middenoor bij afwijkende middenoordrukken, de TEOAE amplitudes kunnen verhogen, waardoor deze beter te detecteren zijn.

We onderzochten bij 59 kinderen met een negatieve middenoordruk op het tympanogram het effect van drukcompensatie op de amplitude van TEOAEs. Met een hiervoor specifiek ontwikkeld TEOAE/tympanometrie meetinstrument bleek het opheffen van het drukgradiënt over het trommelvlies mogelijk en konden TEOAEs met en zonder drukcompensatie worden gemeten. Zoals verwacht ontstond een toename van de emissie amplitude bij compensatie van de negatieve middenoordruk. Deze amplitude toename was significant groter in de 1 en 2 kHz frequentiegebieden. Ten tweede toonden we een negatieve correlatie aan tussen de *tympanic peak pressure*, TPP (de druk waarbij het tympanogram de grootste beweeglijkheid aangeeft) en de winst in TEOAE amplitude. Daarnaast is de relatie tussen de TPP en de emissietoename voor 4 reproduceerbaarheidscriteria (85%, 70%, 60% en 50%) geanalyseerd. Hieruit bleek dat hoe strenger het reproduceerbaarheids criterium des te hoger de correlatie was tussen compensatie druk en toename in amplitude. Dat wil zeggen dat er daadwerkelijk een effect op de emissie bestaat door de drukcompensatie en niet op de altijd aanwezige ruis. Deze correlatie was duidelijker voor de lagere frequentiebanden.

In **Hoofdstuk 5** wordt, gebaseerd op de bevindingen van hoofdstuk 4, een door ons ontwikkeld twee stappen scenario als screeningsprogramma met TEOAE bij kinderen gepresenteerd.

Het in het vorige hoofdstuk beschreven meetinstrument kan een afwijkende middenoordruk compenseren en gelijktijdig TEOAEs meten. Dat kan leiden tot een

verbeterde detectie van TEOAEs bij kinderen met milde middenoorpathologie en daarmee tot een afname van het aantal vals negatieve uitslagen bij gehoorscreening. Hierdoor zou het aantal herhaalde audiologische en KNO onderzoeken en interventies kunnen afnemen.

In onze populatie, met een hoge prevalentie van middenoorpathologie (kinderen verwezen voor gehoorklachten), waren TEOAEs in meer dan 50% van de oren niet te detecteren bij een normale omgevingsdruk. Bij middenoordrukcompensatie bleken TEOAEs significant vaker detecteerbaar, maar bij enkele oren leidde deze drukcompensatie juist tot een verminderde detectie en werd een initieel positief screeningsresultaat na drukcompensatie een onvoldoende uitslag. Dit probleem kan worden verholpen door het volgen van een twee stappen scenario. Bij deze procedure wordt een TEOAE alleen herhaald door een druk gecompenseerde meting indien er een onvoldoende eerste score was. Deze procedure leidde tot een significante reductie van aantallen vals negatieve testuitslagen, dus tot een vermindering van onnodige verdere audiologische vervolgdagnostiek.

In de literatuur bleek er geen consensus te bestaan over wanneer detectie van een TEOAE als voldoende zou moeten worden beoordeeld. We definieerden 12 verschillende pass/fail definities, op basis van reproduceerbaarheidscriteria, de algemene signaal-ruis verhouding en de frequentie specifieke signaal-ruis verhouding. Zoals verwacht leidden de meest strenge definities tot het laagste aantal passes en definities met milde reproduceerbaarheidscriteria of signaal-ruis verhoudingen tot een veel hoger aantal passes. Met andere woorden, hoe strenger de definitie hoe minder signalen boven de ruis emissies genoemd mogen worden. De algemene signaal-ruis verhouding had een grotere invloed op de screeningsuitslag waardoor het aantal lager was dan bij vergelijkbare definities voor specifieke frequentie banden.

Tevens hebben we gekeken naar de vorm van het tympanogram en de aan- of afwezigheid van TEOAEs. Een negatieve TPP, vaak samengaan met een lage compliantie (hoogte van de piek van het tympanogram) worden in de praktijk beoordeeld als “onderdruk in het middenoor” op het tympanogram. Oren met een voldoende TEOAE screeningscore bij de ongecompenseerde meting hadden de hoogste compliantie. Een lage compliantie bij tympanometrie leidde vaker tot een onvoldoende TEOAE score, zowel bij metingen bij een ongecompenseerde als bij een gecompenseerde middenoordruk. Lagere TPPs werden vaker gemeten bij oren met een onvoldoende score bij zowel ongecompenseerde- als gecompenseerde middenoordrukken. Deze resultaten bleken onvoldoende om op de vorm van een tympanogram te kunnen voorspellen of een gecompenseerde meting zou leiden tot een voldoende screeningsuitslag. Deze bevindingen pleiten voor het hanteren van het voorgestelde twee-stappen scenario bij drukgecompenseerde TEOAE screening.

**Hoofdstuk 6** probeert verder inzicht te bieden in hoe middenoordruk compensatie leidt tot amplitude verhoging van *click evoked otoacoustic emissions* (CEOAEs). Naast de



amplitude werd ook de fase verandering van de emissie na drukcompensatie bestudeerd en werden deze resultaten vergeleken met een aangepast middenoor-model van Zwislocki.

De resultaten toonden aan dat opheffen van een afwijkende TPP leidde tot een toename van de amplitude als ook tot een vertraging van de fase van de CEOAE. Het effect nam toe in oren met een milde tot matige negatieve TPP, maar nam niet verder toe bij oren met een ernstige negatieve TPP. Als verklaring hiervoor denken we dat bij de laatste groep secundaire effecten zoals aanwezigheid van effusie of verdikte mucosa een rol speelt. In overeenstemming met de resultaten uit hoofdstuk 4 en 5 waren de lage frequenties van de emissies meer beïnvloed door de drukcompensatie dan de hoge frequenties, dit betrof zowel de amplitude als de faseverandering.

Het middenoormodel van Zwislocki bleek bruikbaar voor het beschrijven van de veranderingen in amplitude en fase. In ons onderzoek moesten de basiswaarden van het model welke werden gebruikt voor het beschrijven van de drukcompensatie iets worden aangepast. We verwachtten dat een negatieve TPP resulteert in een toename van de stijfheid van het middenoor systeem, welke na compensatie zou terugkomen naar normaalwaarden. In het model werd de compliantie  $C_0$  veranderd (stijfheid trommelvlies, malleus en incus), waarna patiënten data en modelvoorspellingen zijn vergeleken. Hierbij kwamen de modelgegevens goed overeen met patiëntendata voor oren met een matig negatieve TPP. Een iets betere voorspelling werd bereikt door een aanvullende verlaging van de massa factor  $L_0$ . Een verklaring voor deze massareductie door drukcompensatie is mogelijk gelegen in verplaatsing van middenoor effusie.